

IP20 Rec'd PCT/PTO 28 JUL 2006

## TRIBOMETRE

L'invention concerne un tribomètre permettant notamment de générer des pressions de contact et/ou des vitesses de frottement de glissement très élevées.

Dans certains domaines de production, comme la mise en forme des métaux, les gains de productivité et la réduction des coûts de maintenance imposent des contacts entre surfaces frottantes, lubrifiées ou non, soumis à des conditions de fonctionnement de plus en plus sévères. On peut citer, à titre d'exemple, le procédé de tréfilage de fils d'acier laitonné dans la fabrication de carcasses de pneumatiques à structure radiale, procédé qui reste l'un des plus complexes en termes de lubrification. Les aciers, dont la limite élastique peut être de plus en plus élevée, sont transformés à des vitesses de plus en plus importantes. De nouvelles formulations de lubrifiant plus performantes doivent être envisagées pour permettre la maîtrise du tréfilage d'aciers durs, mais aussi d'autres métaux, à des vitesses extrêmement élevées.

Par ailleurs, afin de prédire la durée de vie d'un système mécanique (moteur, transmission, roulement), il est nécessaire d'accélérer le processus de vieillissement des surfaces frottantes en accroissant la sévérité des conditions tribologiques auxquelles ces surfaces sont soumises, en accroissant notamment la cinétique d'usure des surfaces. Ceci peut permettre de réduire les essais lourds et coûteux sur bancs industriels.

Trois paramètres sont particulièrement cruciaux pour la compréhension des phénomènes d'usure et des mécanismes de lubrification à hautes pressions et hautes vitesses :

- la température de contact, qui peut être supérieure à 500 °C, et qui peut limiter les performances actuelles des lubrifiants,
- le temps de contact, qui peut être très court (de l'ordre de quelques  $\mu$ s) si les vitesses de glissement sont très élevées (supérieure à 1 m/s),
- le gradient de pression subi par le lubrifiant, lors de son passage dans le contact entre les surfaces frottantes.

De manière classique, le comportement tribologique des surfaces et des lubrifiants est évalué d'abord pour des pressions et vitesses peu élevées, accessibles sur des tribomètres conventionnels tels que ceux commercialisés par les sociétés FALEX et PLINT & PARTNERS, puis les résultats obtenus sont extrapolés pour des vitesses et

pressions sensiblement plus élevées grâce à des corrélations basées sur un nombre important d'essais de validation sur bancs industriels.

Ces tribomètres conventionnels présentent un certain nombre d'inconvénients :

- les éprouvettes utilisées peuvent être coûteuses dues à une forme complexe, certaines présentant une forme cylindrique avec un coin,
- la mise en œuvre des essais peut s'avérer coûteuse,
- les conditions de fonctionnement peuvent être insuffisantes pour tester des matériaux à haute résistance à l'usure tels que les céramiques ou certains aciers,
- il est difficile, voire impossible, d'appliquer simultanément des vitesses et des pressions élevées, les vitesses étant généralement limitées à environ 0,1 m/s et les pressions de contact maximales étant de l'ordre du GPa,
- il est difficile, voire impossible, de contrôler à la fois la cinématique du contact et la cinétique de la charge au niveau des contacts.

L'invention vise à remédier à tout ou partie des inconvénients précités.

L'invention a pour objet un tribomètre comportant :

- un premier ensemble de support agencé pour recevoir une éprouvette centrale, laquelle est cylindrique de révolution, et l'entraîner en rotation suivant son axe,
- un second ensemble de support agencé pour recevoir une pluralité d'éprouvettes périphériques, de préférence trois, et permettre le contact de ladite éprouvette centrale simultanément avec lesdites éprouvettes périphériques dans une configuration isostatique, de sorte que l'éprouvette centrale puisse, en étant entraînée en rotation, frotter contre les éprouvettes périphériques.

Grâce à l'invention, il est possible de mener des tests avec des éprouvettes présentant une forme simple et donc un coût de fabrication réduit.

De préférence, l'une au moins des trois éprouvettes périphériques, notamment toutes les trois, présentent chacune une forme choisie de manière à permettre un contact linéique avec l'éprouvette centrale, notamment suivant un segment de droite. Ceci permet notamment de générer des pertes de matière accrues et d'avoir des surfaces d'usure relativement importantes pouvant servir à caractériser les transformations chimiques de ces surfaces suite aux sollicitations tribologiques.

L'une au moins des trois éprouvettes périphériques, notamment toutes les trois, peuvent comporter chacune une face plane sur laquelle vient frotter l'éprouvette centrale, et peuvent présenter par exemple chacune une forme de plaquette.

5 Les éprouvettes peuvent ainsi avoir une forme particulièrement simple, ce qui permet de réduire de manière importante leur coût de fabrication. Ceci est particulièrement avantageux pour les matériaux céramiques tels que le carbure de tungstène ou l'alumine.

10 Le deuxième ensemble de support est de préférence agencé de sorte que les contacts des éprouvettes périphériques sur l'éprouvette centrale soient équiangulairement répartis autour de ladite éprouvette centrale, étant sensiblement à 120° l'un de l'autre, le contact entre, d'une part, l'éprouvette centrale et, d'autre part, les trois éprouvettes périphériques étant isostatique.

15 En entraînant l'éprouvette centrale à une vitesse de rotation élevée et/ou en augmentant le diamètre de cette éprouvette centrale, il est possible, grâce à l'invention, d'atteindre des vitesses de frottement de glissement très élevées, supérieures notamment à 1 m/s, pouvant notamment atteindre jusqu'à 15 m/s. Le contact isostatique précité peut encore permettre d'atteindre des pressions de contact très élevées, notamment supérieures à 1 GPa, par exemple jusqu'à 3 GPa.

20 Les contacts étant soumis à des sollicitations tribologiques sévères, à l'instar de conditions de fonctionnement réelles, les essais sur bancs industriels peuvent être réduits, ce qui permet de limiter les coûts de développement.

L'invention permet en outre de faciliter la formulation de lubrifiants (liquide, solide, multiphasique, émulsion, dispersion, lubrifiant aqueux, lubrifiant solide, huile, graisse) et l'élaboration de matériaux pour des systèmes mécaniques sollicités dans des conditions de pressions, vitesses de glissement et température de contact très élevées.

25 L'invention est particulièrement bien adaptée aux tests avec des matériaux métalliques et céramiques très résistants à l'usure, tels que le carbure de tungstène, dont l'usure ne se produit qu'à partir de seuils d'énergie considérable, de l'ordre de 1 kJ/ $\mu\text{m}^3$ .

L'invention permet encore :

30 - la réalisation de cartographies pour les coefficients de frottement/pression/vitesse, pour un couple matériau/lubrifiant donné, permettant ainsi d'affiner les conditions optimales de lubrification,

- l'étude des effets thermiques en lubrification en conditions de vitesses et pressions très élevées en exploitant des vitesses élevées couplées à une mesure en continu de la température moyenne de contact,

- l'étude, sur le plan fondamental, des processus d'usure et des mécanismes de lubrification, en conditions de vitesses et pressions extrêmes. Dans ces gammes de vitesses et de pressions, le comportement tribologique des lubrifiants et des surfaces qu'ils protègent est largement méconnu car il est actuellement difficile de simuler de telles conditions en dehors des bancs industriels.

Le deuxième ensemble de support peut comporter trois pièces de support portant chacune une éprouvette, l'une au moins de ces trois pièces de support pouvant être mobile par rapport aux deux autres.

Les trois pièces de support peuvent être agencées pour former une cavité, laquelle peut contenir un produit, notamment un lubrifiant, les éprouvettes centrale et périphériques pouvant s'étendre au moins partiellement dans cette cavité de sorte que les contacts de l'éprouvette centrale avec les éprouvettes périphériques peuvent, le cas échéant, être au moins partiellement noyés dans le produit.

Le tribomètre selon l'invention permet ainsi de tester des contacts secs ou lubrifiés.

Le tribomètre peut comporter un circuit agencé pour établir une circulation de produit, notamment de lubrifiant, dans la cavité.

Cette circulation peut permettre le contrôle de la température dans la cavité.

Le tribomètre peut comporter un dispositif d'application de charge agencé pour appliquer une force sur l'une au moins des pièces de support, notamment sur chacune des trois.

Le dispositif d'application de charge peut comporter trois poussoirs agencés pour exercer sur chacune des pièces de support respectivement, une force sensiblement normale à l'axe de rotation de l'éprouvette centrale.

Chaque poussoir peut être entraîné par un actionneur comportant un bras articulé, solidaire à une extrémité, d'une partie fixe du tribomètre et, à l'autre extrémité, d'un organe d'entraînement axialement mobile.

Le tribomètre comporte avantageusement un dispositif de répartition de charge agencé pour commander le dispositif d'application de charge, notamment en contrôlant le déplacement des organes d'entraînement du dispositif d'application de charge.

5 Chaque organe d'entraînement est avantageusement solidaire d'une poulie d'entraînement et le dispositif de répartition de charge peut comporter une courroie engagée sur les trois poulies des organes d'entraînement, le dispositif de répartition de charge étant en outre agencé pour exercer sur la courroie une tension variable.

Le tribomètre selon l'invention permet de réguler en temps réel la charge appliquée sur les éprouvettes.

10 Le dispositif de répartition de charge peut comporter deux poulies de guidage de la courroie disposées chacune entre deux poulies d'entraînement.

Le dispositif de répartition de charge peut encore comporter deux poulies de charge sur lesquelles sont fixées respectivement les deux extrémités de la courroie.

15 L'une au moins des poulies de charge peut être entraînée en rotation à l'aide d'une bande fixée à une extrémité à cette poulie de charge et à l'autre extrémité à un chariot mobile.

Le dispositif de répartition de charge peut comporter une première membrane souple agencée pour entraîner le chariot mobile en déplacement, en fonction de la pression dans la première membrane.

20 Dans un exemple de mise en œuvre de l'invention, le tribomètre comporte un système de régulation en pression agencé pour contrôler la pression de la première membrane, ce système comportant par exemple un ressort ayant une première extrémité apte à être déplacée par l'intermédiaire d'un moteur et une deuxième extrémité solidaire d'un bras agencé pour agir sur une deuxième membrane souple en communication avec la  
25 première membrane souple.

Le tribomètre selon l'invention permet ainsi le contrôle simultané de la cinétique de chargement et de la cinématique des contacts.

Le tribomètre peut être agencé pour permettre d'atteindre une charge maximale de  $2 \cdot 10^4$  N, par poussoir, en 4 s, soit un gradient de pression maximale de l'ordre de  
30 7000 bars par seconde.

Les dispositifs d'application et de répartition de charge et le système de régulation en pression sont extérieurs à la cavité précitée et peuvent ne jamais être en contact direct avec le lubrifiant.

5 Le tribomètre peut être agencé pour agir sur la position de l'une au moins des pièces de support en cas de déplacement d'un contact entre l'éprouvette centrale et l'une des éprouvettes périphériques.

Le dispositif de charge peut être associé à un capteur de force tangentielle apte à mesurer la force tangentielle au niveau d'un contact entre l'éprouvette centrale et l'une des éprouvettes périphériques.

10 La mesure en continu du couple du moteur entraînant l'éprouvette centrale en rotation permet une évaluation précise des efforts de frottement sur les deux autres contacts, non associés à un capteur de force tangentielle.

Le tribomètre peut comporter trois capteurs de force normale agencés pour mesurer la force normale au niveau de chaque contact entre l'éprouvette centrale et les  
15 éprouvettes périphériques.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui va suivre, d'un exemple de mise en œuvre non limitatif de l'invention, et à l'examen du dessin annexé, sur lequel :

- 20 - la figure 1 représente, schématiquement et partiellement, en perspective, un tribomètre conforme à l'invention,
- la figure 2 est une vue, schématique et partielle, des contacts entre les éprouvettes,
- la figure 3 représente, schématiquement et partiellement, le second ensemble de support du tribomètre de la figure 1,
- 25 - la figure 4 représente, schématiquement et partiellement, le dispositif d'application de charge du tribomètre,
- la figure 5 représente, schématiquement et partiellement, en perspective, le dispositif de répartition de charge du tribomètre,
- la figure 6 est une vue en perspective, schématique et partielle, du  
30 dispositif d'application de charge du tribomètre,
- la figure 7 représente, schématiquement et partiellement, de manière isolée, un chariot mobile du dispositif de charge,

- la figure 8 est une vue schématisant les éléments du dispositif de répartition de charge du tribomètre,

- la figure 9 représente, schématiquement et partiellement, un système de régulation en pression du tribomètre, et

5       - la figure 10 est une vue schématisant le système de régulation en pression du tribomètre.

On a représenté sur la figure 1 différents éléments constitutifs d'un tribomètre 1 conforme à l'invention.

10       Le tribomètre 1 comporte un premier ensemble de support 2, un deuxième ensemble de support 4, un dispositif d'application de charge 5, et un dispositif de répartition de charge 6.

Le premier ensemble de support 2 porte une éprouvette centrale 3 cylindrique de révolution.

15       L'éprouvette centrale 3 est fixée à un arbre d'axe X d'un moteur d'entraînement 7 par l'intermédiaire d'une broche 8 agencée pour permettre la mise en place d'éprouvettes dont le diamètre peut varier de 8 mm à 32 mm, dans l'exemple considéré.

20       Le moteur 7 est agencé pour entraîner l'éprouvette 3 en rotation à une vitesse pouvant aller jusqu'à 9000 tr/mn, ce qui permet d'atteindre des vitesses linéaires allant environ de 3,8 m/s à 15 m/s.

Le deuxième ensemble de support 4 comporte trois pièces de support 10, comme on peut le voir sur les figures 2 et 3.

25       Chaque pièce de support 10 porte une éprouvette périphérique 9, se présentant sous la forme d'une plaquette, par exemple en inox, celle-ci étant insérée dans un renforcement de la pièce de support 10 et y étant maintenue, dans l'exemple considéré, par encliquetage.

30       Chaque pièce de support 10 présente un évidement 11 apte à définir avec les deux évidements 11 des deux autres pièces de support 10, lorsque les trois pièces 10 sont réunies comme illustré sur la figure 3, une cavité 12 dans laquelle sont logées les trois éprouvettes périphériques 9 et dans laquelle peut s'engager l'éprouvette centrale 3 lorsque le tribomètre est en marche.

Des joints d'étanchéité 13 peuvent être interposés chacun entre deux pièces de support 10, comme on peut le voir sur la figure 3, afin de rendre étanche la cavité 12.

La cavité 12 peut servir de réservoir pour un lubrifiant, notamment liquide, dans lequel sont noyés les contacts entre l'éprouvette centrale 3 et les éprouvettes périphériques 9.

Cette cavité 12 peut être mise en communication avec un circuit agencé pour générer une circulation de produit, notamment d'un lubrifiant, dans la cavité 12 par l'intermédiaire de deux orifices respectivement d'entrée et de sortie 15, réalisées sur deux des pièces de support 10.

Le dispositif d'application de charge 5 comporte trois poussoirs 20 aptes chacun à exercer une force normale  $F$  sur une pièce de support 10, comme illustré sur la figure 2.

En appliquant une force  $F$  très élevée (jusqu'à environ  $2 \cdot 10^4$  N), il est possible d'atteindre des pressions de contact très élevées (jusqu'à environ 3 GPa).

Chaque poussoir 20 est monté coulissant sur des rails 21, comme on peut le voir sur les figures 2 et 6.

Par souci de clarté, un seul poussoir 20, parmi trois, est représenté sur la figure 6.

Chaque poussoir 20 est commandé en déplacement par un actionneur 22 représenté sur la figure 4.

Cet actionneur 22 comporte un bras pivotant 23, lequel comprend une partie inférieure 23a et une partie supérieure 23b articulées entre elles.

La partie inférieure 23a du bras 23 est articulée sur un organe d'entraînement 27 monté à coulissement sur un châssis 40 du tribomètre 1, comme on peut le voir notamment sur la figure 5.

La partie supérieure 23b du bras 23 est articulée sur une partie fixe 25 du tribomètre.

L'actionneur 22 comporte un élément de rappel élastique, notamment un ressort, non représenté, permettant de rappeler le bras pivotant 23 dans une position de repos. Le ressort permet en outre de filtrer des variations parasites de la charge.

Le dispositif de charge 5 comporte trois capteurs de force normale 30 disposés à proximité du poussoir 20 permettant de mesurer la force normale appliquée sur celui-ci et



un capteur supplémentaire, non représenté, permettant de mesurer une force tangentielle sur l'un des contacts frottants.

Le capteur de force normale 30 est avantageusement placé après l'élément de rappel élastique précité.

5 Comme on peut le voir sur la figure 6, le dispositif de charge 5 comporte un ensemble 17 pivotant autour d'un axe Y et portant un poussoir 20, non représenté, pour appliquer une force normale sur une pièce de support 10.

10 L'ensemble 17 est associé au capteur supplémentaire précité, qui peut être constitué par un capteur de force normale, de manière à ce que lorsque l'ensemble 17 pivote autour de l'axe Y, celui-ci vient s'appliquer sur le capteur supplémentaire.

Ce capteur permet ainsi, en mesurant une force normale, de déterminer la force tangentielle sur l'un des contacts frottant.

De plus, le pivotement de l'ensemble 17 autour de l'axe Y permet de compenser un éventuel écart, lors du fonctionnement, entre les contacts frottants.

15 Chaque organe d'entraînement 27 porte une poulie d'entraînement 28, comme on peut le voir sur la figure 5.

Le châssis 40 porte d'une part deux poulies de guidage 29 disposées chacune entre deux poulies d'entraînement 28, et d'autre part deux poulies de charge 32.

20 Dans l'exemple considéré, les poulies d'entraînement 28 présentent un diamètre de 150 mm et les poulies de guidage 29 un diamètre de 250 mm.

Les poulies de charge 32 comportent une partie supérieure ayant un diamètre de 175 mm et une partie inférieure ayant un diamètre de 200 mm.

25 Une courroie 35, réalisée dans l'exemple décrit en Kevlar®, est engagée sur les poulies d'entraînement 28 par l'extérieur, et sur les poulies de guidage 29 par l'intérieur, et est fixée à ses extrémités aux poulies de charge 32.

Chaque poulie de charge 32 est entraînée en rotation par une bande 37, notamment métallique, dont une extrémité est reliée à la partie inférieure de la poulie de charge 32 et l'autre extrémité à un chariot 38 monté à coulissement sur un support 39.

30 Chaque chariot 38, illustré sur la figure 7, comporte des galets 40 pouvant glisser sur le support 39.

Comme on peut le voir sur le schéma de la figure 8, lorsque la courroie 35 est tendue par déplacement des chariots 38, celle-ci entraîne les trois poulies d'entraînement

28 vers l'intérieur de sorte que les actionneurs 22 entraînent les poussoirs 20 correspondants pour exercer une force prédéterminée sur les pièces de support 10.

Le déplacement des chariots 38 est commandé par la déformation d'une première membrane souple 42 disposée sur le support 39, entre les deux chariots 38.

5 La première membrane 42 est associée à un système de régulation en pression 50 permettant de contrôler la pression dans la première membrane 42.

Comme on peut le voir sur la figure 9, ce système 50 comporte un ressort 51 relié à une extrémité à une poulie 52, laquelle est entraînée en rotation par un moteur, non représenté.

10 Le ressort 51 est solidaire à l'autre extrémité d'un bras 55 permettant de faire varier la pression dans une deuxième membrane souple 56, illustrée sur la figure 10, cette dernière étant en communication par l'intermédiaire d'une tubulure avec la première membrane souple 42.

Les mesures suivantes sont effectuées lors du fonctionnement du tribomètre :

- 15
- mesures de la force tangentielle dans une plage de 0 à 5000 N, mesurée à 0,08 N et régulée à 0,5 N sur un contact,
  - mesures de la force normale sur chaque contact dans une plage de 0 à 20000 N, mesurée à 2 N et régulée à 1 N,
  - mesure du couple moteur,
  - 20 - mesure de la température de contact à 0,1 °C, et
  - régulation et mesure de la température du lubrifiant dans le cas d'un contact lubrifié à 0,1 °C près.

Le tribomètre 1 permet une application et une régulation de la charge avec la possibilité de soumettre le contact à une cinétique de chargement contrôlée jusqu'à  $2 \cdot 10^4$  N  
25 tout en maîtrisant la cinématique du contact à vitesse élevée.

## REVENDICATIONS

1. Tribomètre (1) comportant :

5           - un premier ensemble de support (2) agencé pour recevoir une éprouvette centrale (3), laquelle est cylindrique de révolution, et l'entraîner en rotation suivant son axe (X),

          - un second ensemble de support (4) agencé pour recevoir trois éprouvettes périphériques et permettre le contact de ladite éprouvette centrale (3) simultanément avec  
10 lesdites éprouvettes périphériques (9), dans une configuration isostatique, de sorte que l'éprouvette centrale puisse, en étant entraînée en rotation, frotter contre les éprouvettes périphériques, le deuxième ensemble de support (4) comportant trois pièces de support (10) portant chacune une éprouvette (9), chacune de ces trois pièces de support étant mobile par rapport aux deux autres.

15           2. Tribomètre selon la revendication précédente, caractérisé par le fait que l'une au moins des trois éprouvettes périphériques (9), notamment toutes les trois, présentent chacune une forme choisie de manière à permettre un contact linéique avec l'éprouvette centrale, notamment suivant un segment de droite.

          3. Dispositif selon l'une des deux revendications précédentes, caractérisé par  
20 le fait que l'une au moins des trois éprouvettes périphériques (9), notamment toutes les trois, comportent chacune une face plane sur laquelle vient frotter l'éprouvette centrale.

          4. Tribomètre selon la revendication précédente, caractérisé par le fait que l'une au moins des trois éprouvettes périphériques (9), notamment toutes les trois, présentent chacune une forme de plaquette.

25           5. Tribomètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le deuxième ensemble de support (4) est agencé de sorte que les contacts des éprouvettes périphériques (9) sur l'éprouvette centrale (3) sont équiangulairement répartis autour de ladite éprouvette centrale.

          6. Tribomètre selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
30 caractérisé par le fait que les trois pièces de support (10) sont agencées pour former une cavité (12), laquelle peut contenir un produit, notamment un lubrifiant, les éprouvettes centrale et périphériques pouvant s'étendre au moins partiellement dans cette cavité de

sorte que les contacts de l'éprouvette centrale sur les éprouvettes périphériques sont au moins partiellement noyés dans le produit.

7. Tribomètre selon la revendication précédente, caractérisé par le fait qu'il comporte un circuit agencé pour établir une circulation de produit dans la cavité.

5 8. Tribomètre selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, caractérisé par le fait qu'il comporte un dispositif d'application de charge (5) agencé pour appliquer une force sur l'une au moins des pièces de support, notamment toutes les trois.

10 9. Tribomètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le dispositif d'application de charge (5) comporte trois poussoirs (20) agencés pour exercer sur chacune des pièces de support respectivement une force sensiblement normale à l'axe de rotation de l'éprouvette centrale, chaque poussoir étant entraîné par un actionneur (22), lequel comporte un bras articulé (23), solidaire à une extrémité d'une partie fixe (25) du tribomètre et, à l'autre extrémité, d'un organe d'entraînement mobile (27).

15 10. Tribomètre selon la revendication précédente, caractérisé par le fait qu'il comporte un dispositif de répartition de charge (6) pour commander le déplacement des organes d'entraînement.

20 11. Tribomètre selon la revendication 10, caractérisé par le fait que chaque organe d'entraînement est solidaire d'une poulie d'entraînement (18) et par le fait que le dispositif de répartition de charge comporte une courroie (35) engagée sur les trois poulies d'entraînement (28), le dispositif de répartition de charge étant agencé pour exercer sur la courroie une tension variable.

25 12. Tribomètre selon la revendication précédente, caractérisé par le fait que le dispositif de répartition de charge comporte deux poulies de guidage (29) de la courroie, disposées chacune entre deux poulies d'entraînement.

13. Tribomètre selon l'une des revendications 11 et 12, caractérisé par le fait que le dispositif de répartition de charge comporte deux poulies de charge (32) sur lesquelles sont fixées respectivement les deux extrémités de la courroie.

30 14. Tribomètre selon la revendication précédente, caractérisé par le fait que l'une au moins des poulies de charge (32) est entraînée en rotation à l'aide d'une bande (37) fixée à une extrémité à cette poulie de charge (32) et à l'autre extrémité à un chariot mobile (38).

15. Tribomètre selon la revendication précédente, caractérisé par le fait que le dispositif de répartition de charge comporte une première membrane (42) agencée pour entraîner le chariot mobile (38) en déplacement.

5 16. Tribomètre selon la revendication précédente, caractérisé par le fait qu'il comporte un système de régulation en pression agencé pour contrôler la pression de la première membrane, le système comportant par exemple un ressort ayant une première extrémité apte à être déplacée par l'intermédiaire d'un moteur et une extrémité solidaire d'un bras agencé pour agir sur une deuxième membrane souple en communication avec la première.

1 / 8

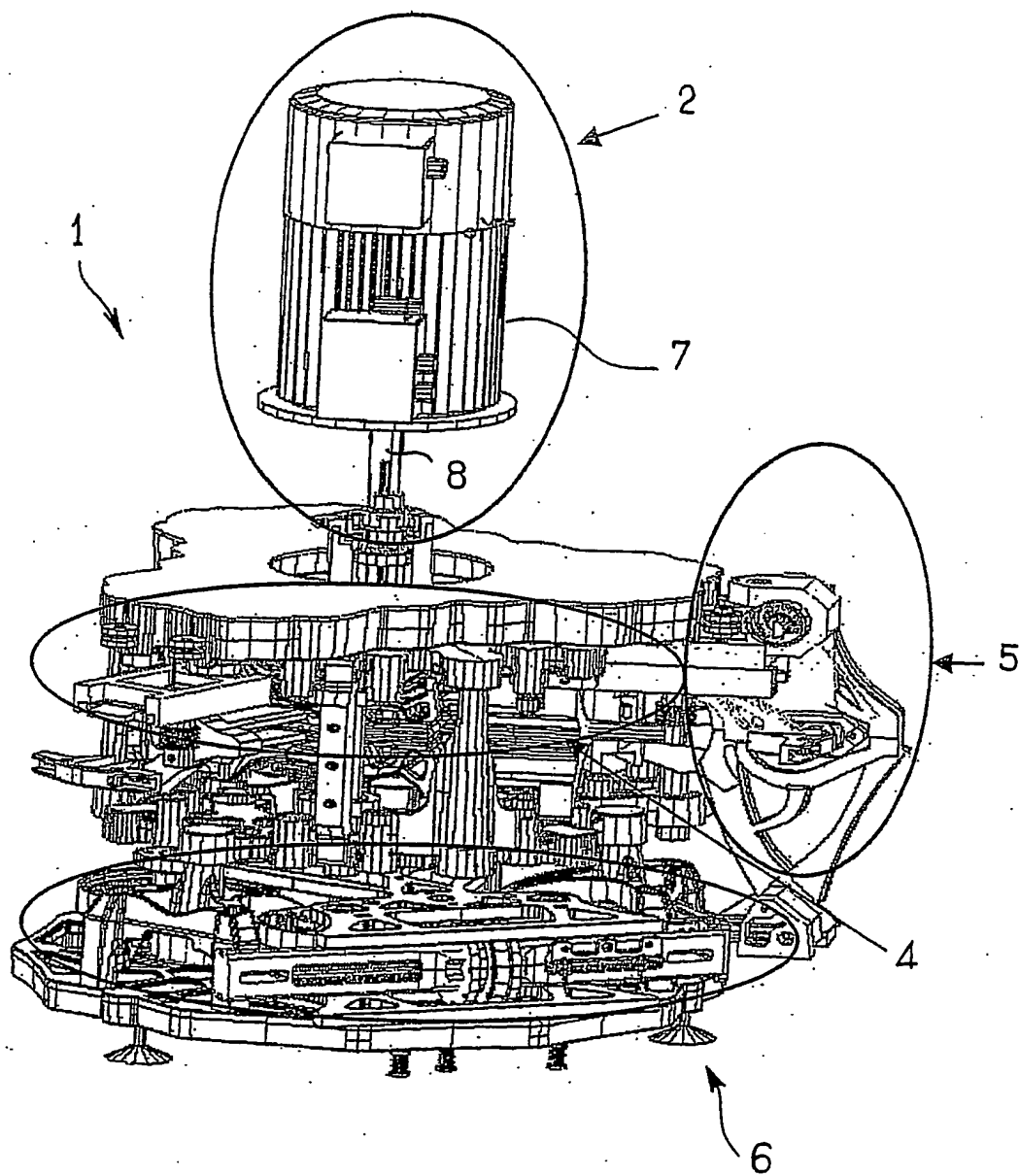
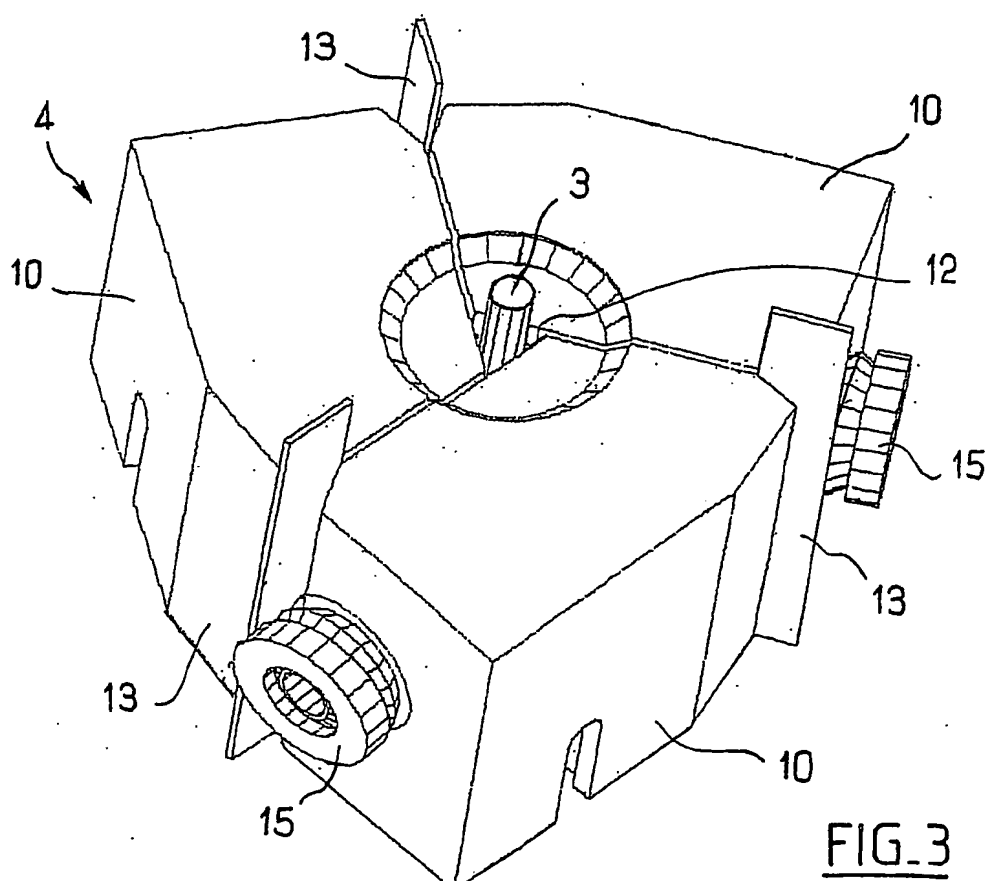
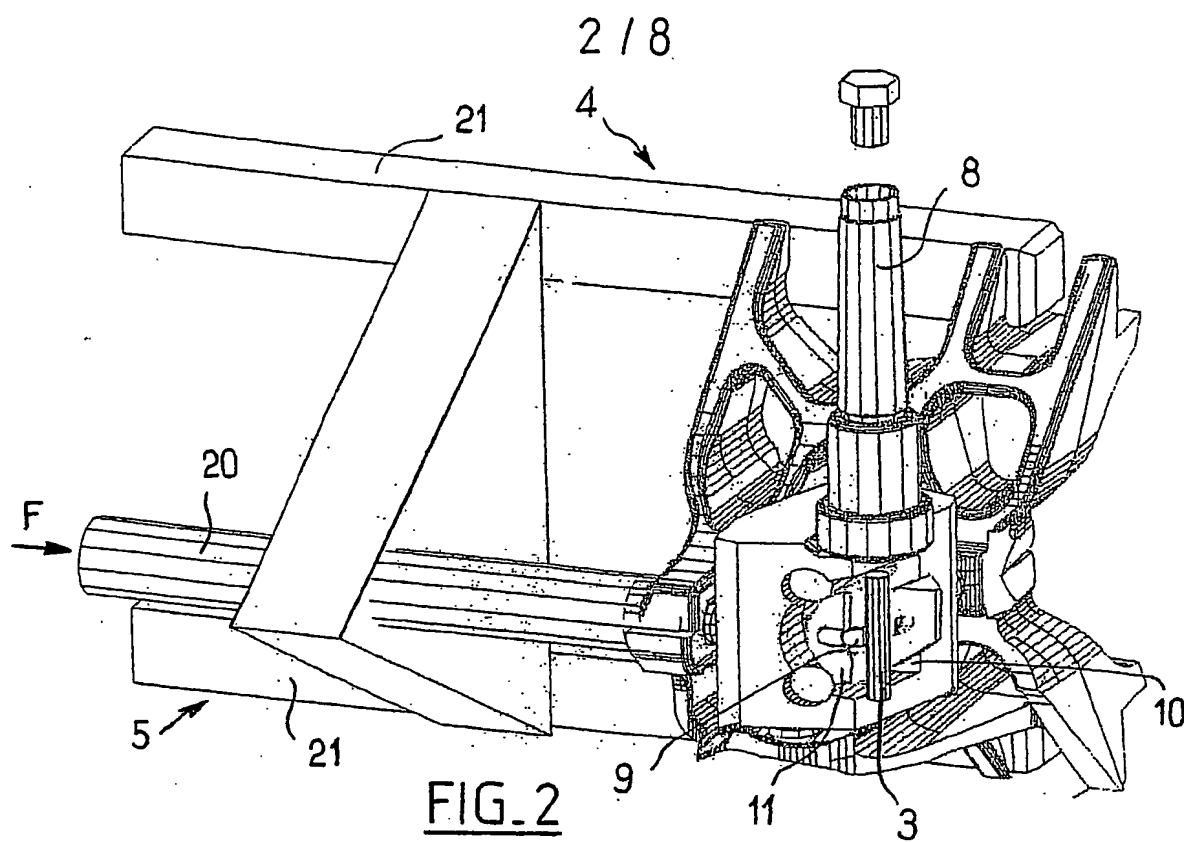


FIG.1



3 / 8

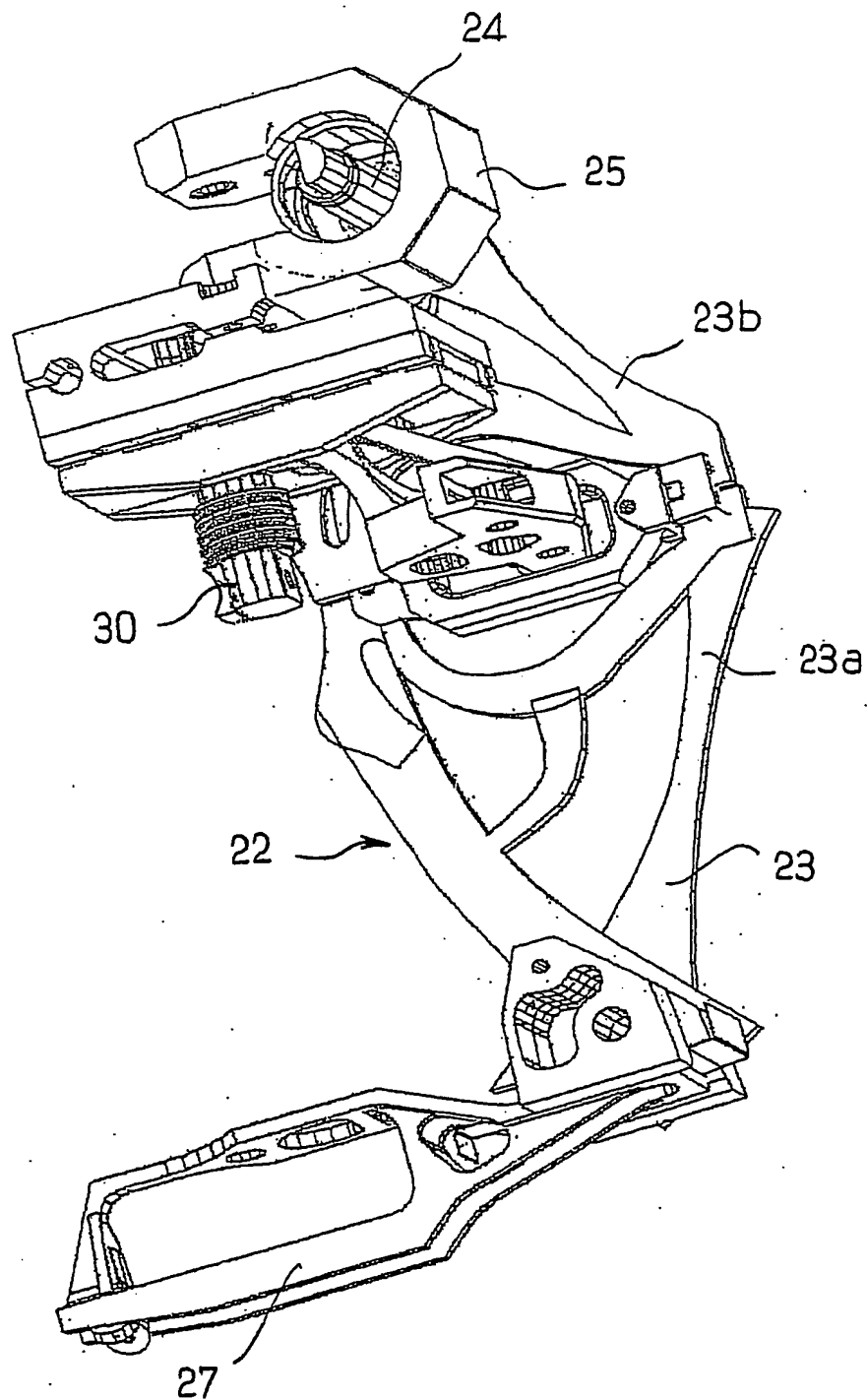
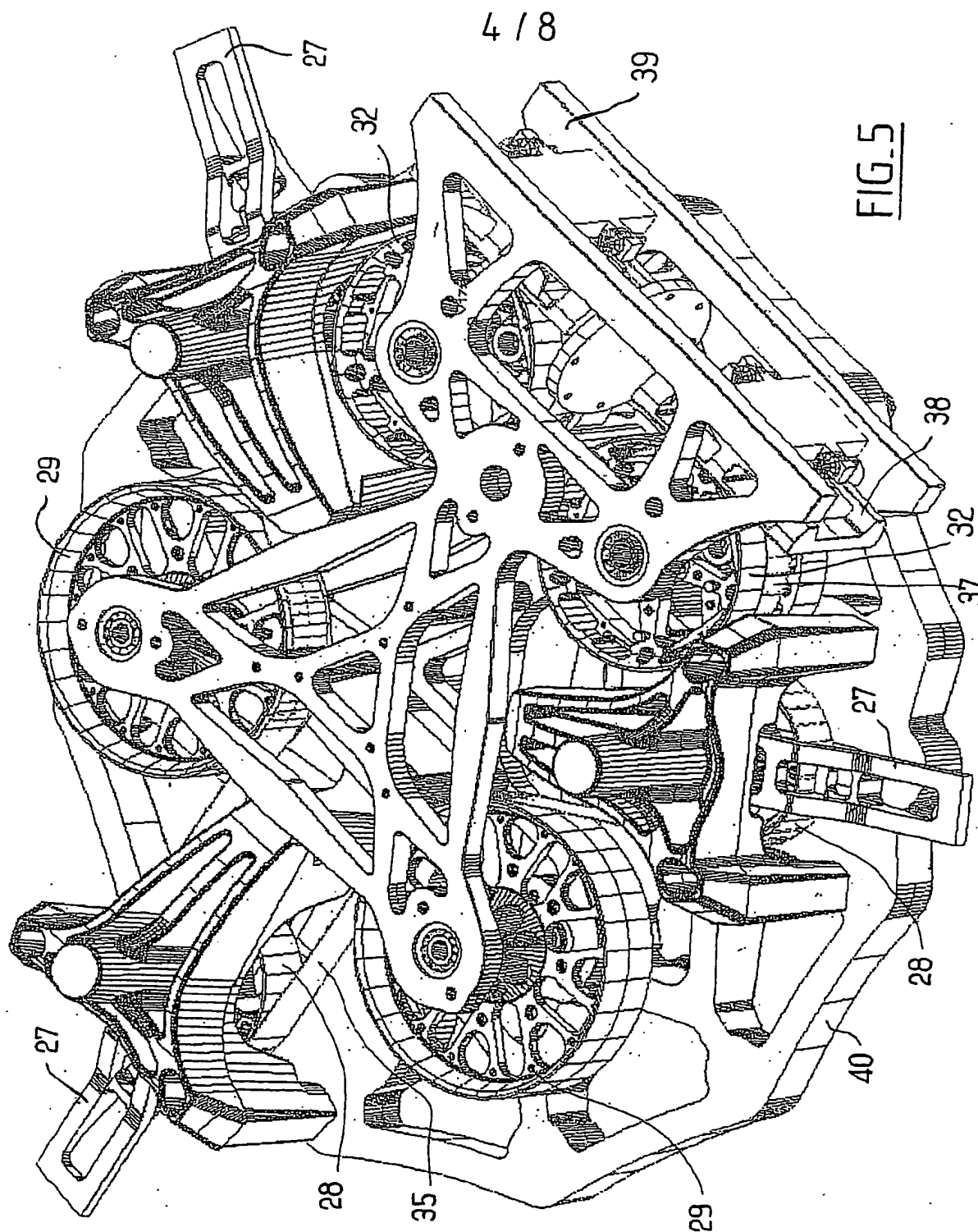


FIG. 4





5 / 8

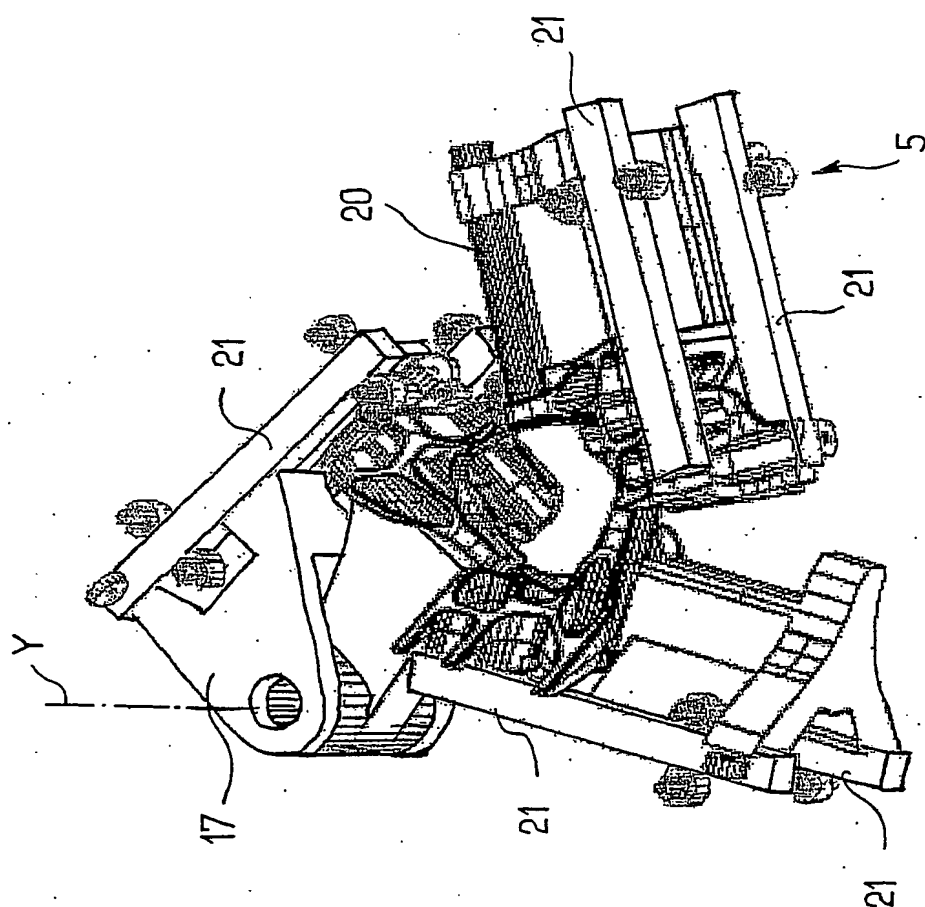


FIG. 6

6 / 8

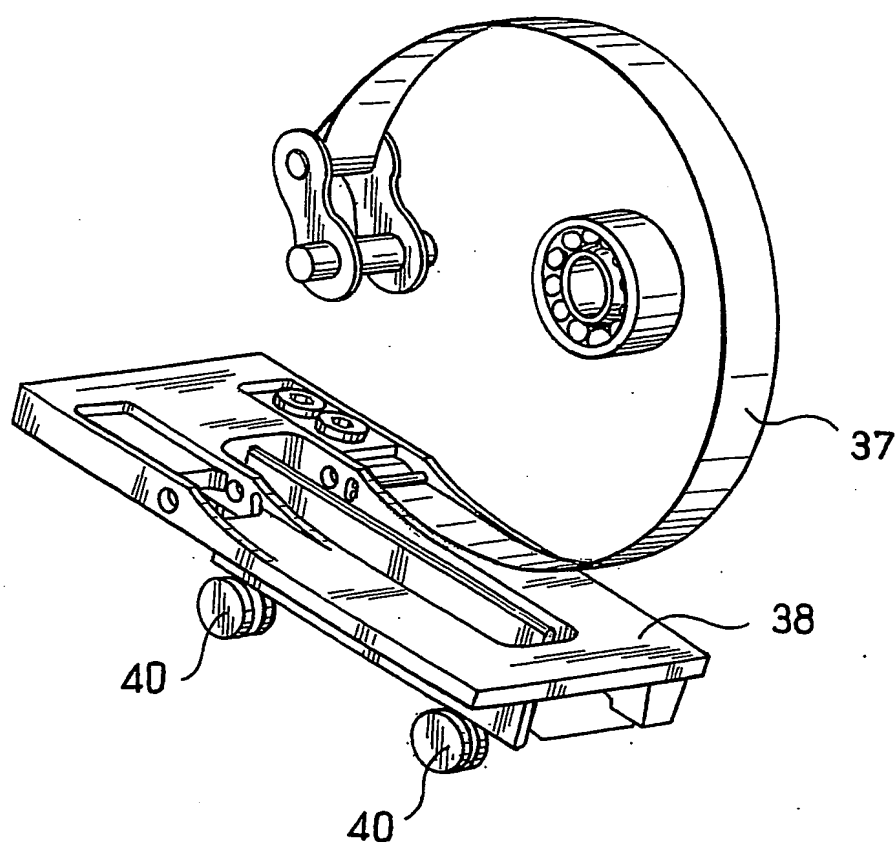


FIG. 7

7 / 8

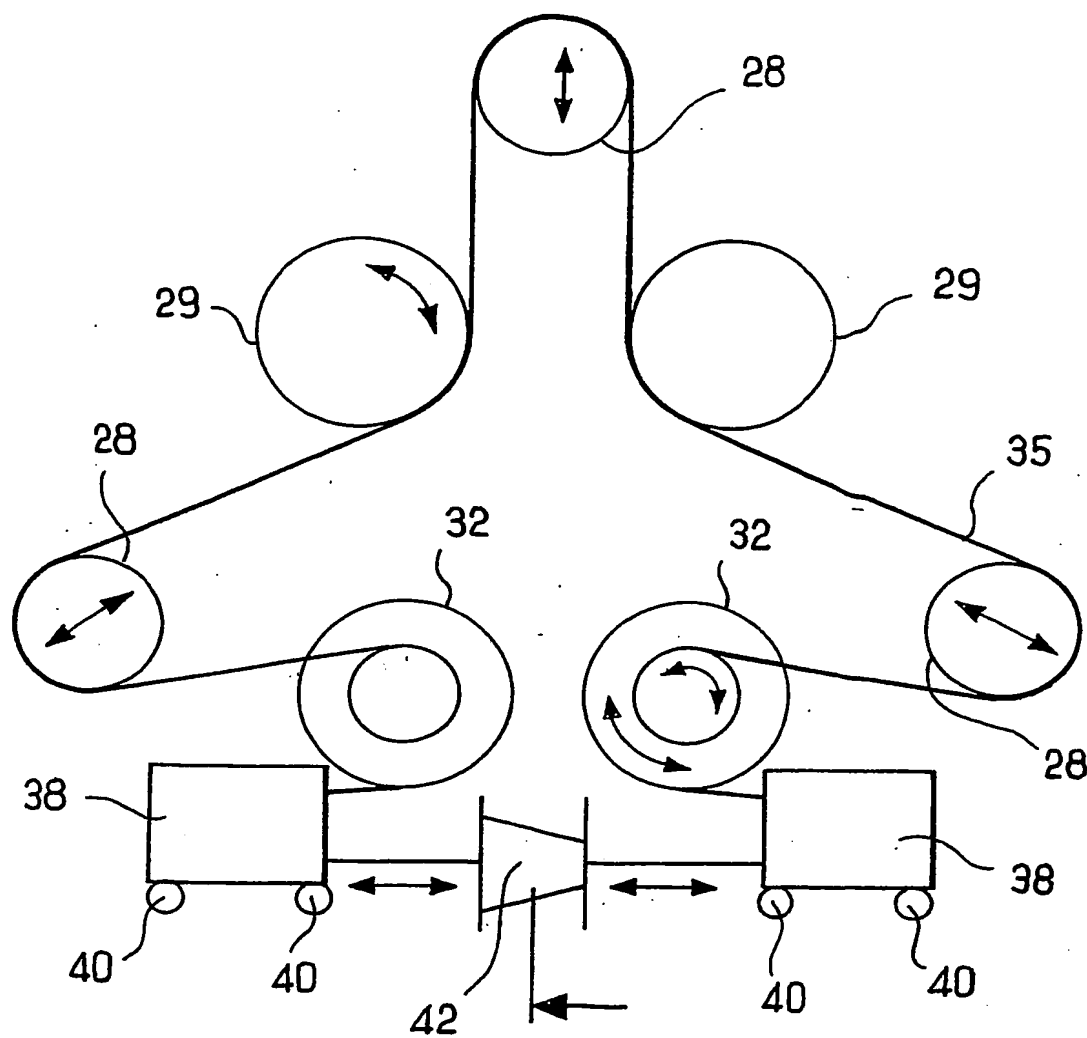


FIG. 8

8 / 8

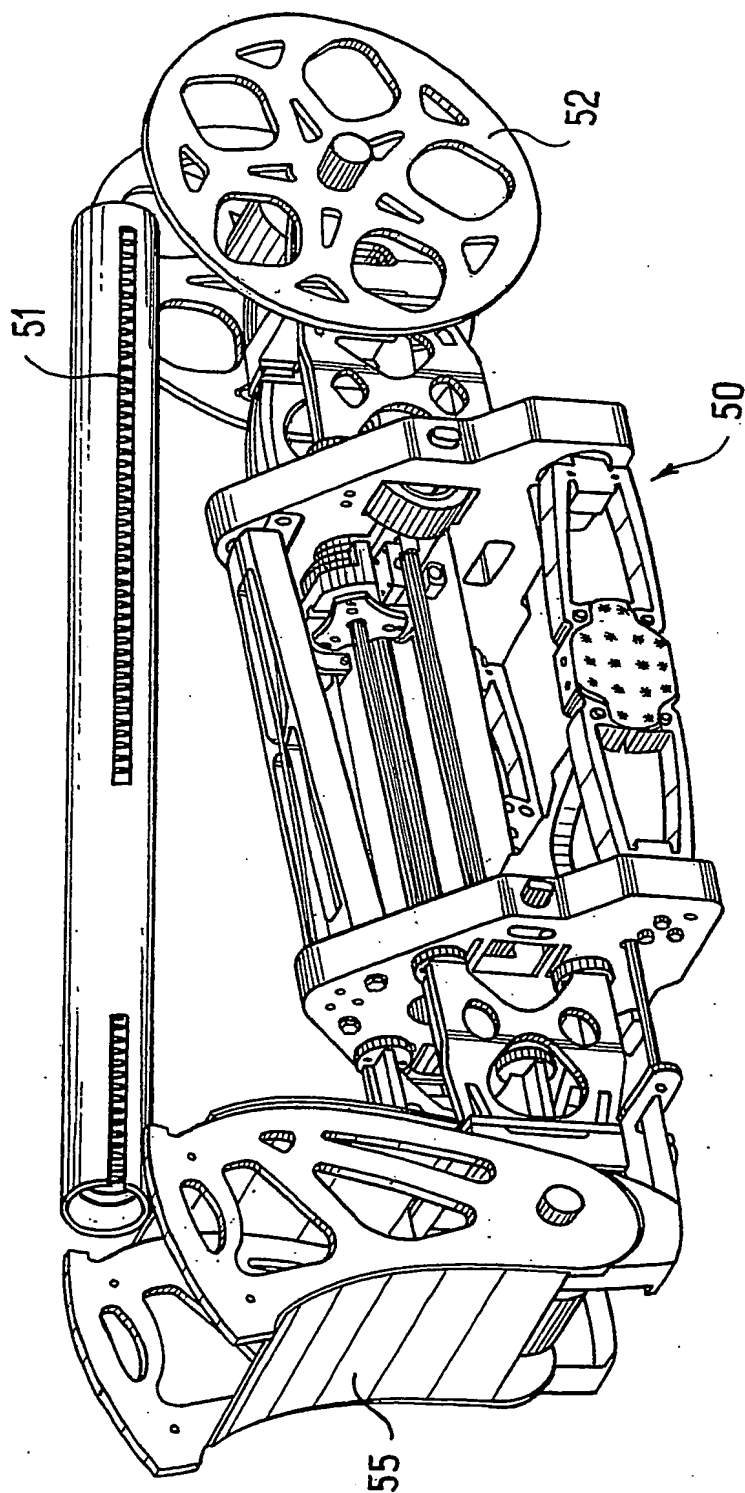


FIG. 9

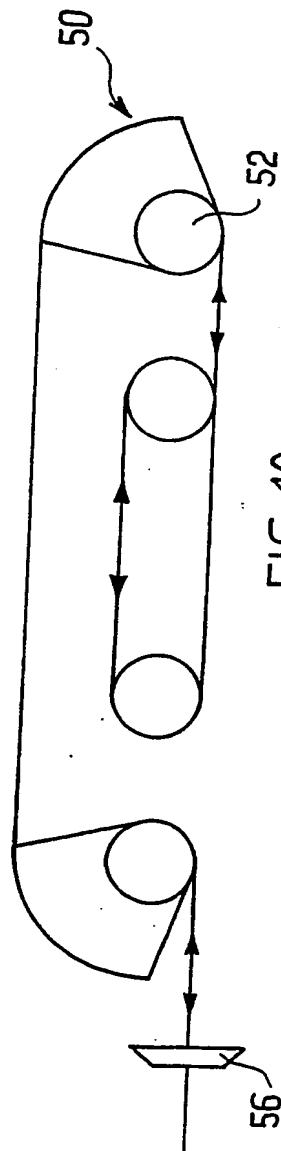


FIG. 10

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int'l Application No  
PCT/FR2005/050063A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 G01N3/56 G01N33/30

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 1 500 941 A (ACADEMIA R S ROMANIA) 10 November 1967 (1967-11-10) pages 2-3	1-6,8
A	US 5 955 655 A (EVANS PAUL R) 21 September 1999 (1999-09-21) column 3, line 26 - column 4, line 4; figures	1-8
A	US 6 145 370 A (EVANS PAUL R) 14 November 2000 (2000-11-14) column 4, line 4 - column 5, line 60; figures 4-7	1-3,5-10
A	FR 2 036 123 A (ETUDE PROPULSION REACTIO) 24 December 1970 (1970-12-24) page 6, line 18 - page 7, line 15; figures	1-3,5-10
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

3 June 2005

Date of mailing of the international search report

28/06/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hodson, M

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In International Application No  
PCT/FR2005/050063

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 0102, no. 82 (P-500), 25 September 1986 (1986-09-25) & JP 61 102539 A (KUNIO TSUJI), 21 May 1986 (1986-05-21) abstract; figures	1,2,5
A	US 2 106 170 A (FAVILLE FREDERICK A) 25 January 1938 (1938-01-25)	

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No  
PCT/FR2005/050063

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 1500941	A	10-11-1967	NONE	
US 5955655	A	21-09-1999	NONE	
US 6145370	A	14-11-2000	NONE	
FR 2036123	A	24-12-1970	FR 2036123 A5	24-12-1970
JP 61102539	A	21-05-1986	JP 6048231 B	22-06-1994
US 2106170	A	25-01-1938	NONE	



# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De internationale No  
PCT/FR2005/050063

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 G01N3/56 G01N33/30

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
CIB 7 G01N

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 1 500 941 A (ACADEMIA R S ROMANIA) 10 novembre 1967 (1967-11-10) pages 2-3	1-6,8
A	US 5 955 655 A (EVANS PAUL R) 21 septembre 1999 (1999-09-21) colonne 3, ligne 26 - colonne 4, ligne 4; figures	1-8
A	US 6 145 370 A (EVANS PAUL R) 14 novembre 2000 (2000-11-14) colonne 4, ligne 4 - colonne 5, ligne 60; figures 4-7	1-3,5-10
A	FR 2 036 123 A (ETUDE PROPULSION REACTIO) 24 décembre 1970 (1970-12-24) page 6, ligne 18 - page 7, ligne 15; figures	1-3,5-10
	-/--	

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

### \* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

3 juin 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

28/06/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Hodson, M

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Den internationale No  
PCT/FR2005/050063

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 0102, no. 82 (P-500), 25 septembre 1986 (1986-09-25) & JP 61 102539 A (KUNIO TSUJI), 21 mai 1986 (1986-05-21) abrégé; figures	1, 2, 5
A	US 2 106 170 A (FAVILLE FREDERICK A) 25 janvier 1938 (1938-01-25)	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Informations relatives aux familles de brevets

De internationale No  
PCT/FR2005/050063

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 1500941	A	10-11-1967	AUCUN	
US 5955655	A	21-09-1999	AUCUN	
US 6145370	A	14-11-2000	AUCUN	
FR 2036123	A	24-12-1970	FR 2036123 A5	24-12-1970
JP 61102539	A	21-05-1986	JP 6048231 B	22-06-1994
US 2106170	A	25-01-1938	AUCUN	

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record.**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☒ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**